Technical Note

Public Works Canada | Travaux publics Canada

Solar Programs Office (613) 998-9817

No. 16: July, 1983

Flow Rate Compensation for Zero-Storage Solar Heating Systems

1. SYNOPSIS

Solar water heating systems with no thermal storage may perform better under certain circumstances than conventional storage-based systems. The following investigation was undertaken to examine the conditions under which this occurs.

2. INTRODUCTION

The WATSUN4 interactive hour-by-hour computer program was used to simulate a system with and without thermal storage. Data for the model system were input as follows:

collector area:	8 m^2
hot water load:	500 L/d
hot water set temperature:	50°C
mains temperature:	10°C
collector slope:	45°
azimuth:	0°
location:	Ottawa
storage:	a) 0 L/m^2 of collector
	b) 60 L/m^2 of collector.

The model system was simulated to show the annual thermal performance using the three types of load profiles shown in figure 1.

i) Type A Load Profile - There is a constant load profile between 08:00 and 18:00. There is a hot water load only during the hours when there is potential incident radiation.

ii) Type B Load Profile - There is an irregular load profile between 08:00 and 18:00.

iii) Type C Load Profile - There is a constant load profile between 12:00 and 22:00. There is potential incident radiation for only a portion of the time there is a hot water load.

3. DISCUSSION

If the 500 L/day load is averaged over the 10-hour day as shown in figure 1 - Type A and Type C, the hot water draw will be .83 L/min. For convenience the Type B profile was also averaged over the 10-hour day to give a similar hot water draw. In the zero storage system the flow through the collectors goes directly to the load. Therefore, the collector flow rate will be 0.1 L/min./m^2 if the panels are connected in parallel. The collector used for this simulation has a design (test) flow rate of 1.32 L/min./m^2. The system would therefore be effectively choked if the collectors were connected in parallel.

To help remedy this siutation, collectors can be connected in series thus increasing the flow rate per collector from 0.1 L/min./m^2 to .47 L/min./m^2. Again this is significantly less than the design flow rate. Therefore, $F_R\tau\alpha$ and F_RU_L used in the simulation must be corrected, first for reduced flow and second for the efficiency penalty of having collectors connected in series.

3.1 Method

STEP 1 Flow Correction

$Fa = 0.96$ (Reference 1)

STEP 2

$(F_R U_L)new = Fa\ (F_R U_L)test$

$(F_R \tau\alpha)new = Fa\ (F_R \tau\alpha)test$

STEP 3 Series Correction

$$F_s = \frac{1 - (1-K)^N}{NK}$$ (Reference 2)

where N = number of identical collectors

$$K = \frac{A\ (F_R U_L)new}{\dot{m}cp}$$

A = area of one collector

$\dot{m}$ = mass flow rate of one collector

cp = specific heat of the collector heat transfer fluid

STEP 4

$(F_R U_L)actual = F_s\ (F_R U_L)new$

$(F_R \tau\alpha)actual = F_s\ (F_R \tau\alpha)new$

After allowing for the flow correction factor of 0.96 and the series correction factor of 0.69, the test values of $F_R U_L$ (8.18) and $F_R \tau\alpha$ (0.73) are derated to 5.42 and 0.484 respectively. Although the penalty for operating collectors in series is quite severe, it does resolve the problem of choking the collector flow in a parallel arrangement.

3.2 Annual Thermal Performance

i) Type A Load Profile:

The zero-storage system with the Type A load profile shows the best annual thermal performance of all the systems examined. When the energy requirement does not exceed the useful energy collected by the solar system, for any hour of the day, thermal storage reduces the potential for energy collection. In a system with a fully mixed thermal storage, the inlet temperature to the collectors is usually higher than mains temperature, which causes a reduction in the efficiency of the solar array.

ii) Type B Load Profile:

A change in the shape of the load profile has a strong effect on the annual thermal performance of the zero-storage system. Since there are hours when energy is collected but there is no load, only the heat transfer fluid in the collector loop is heated and the system is forced to "dump" all remaining collected energy if there is no storage. The system with storage and the Type B load profile performs marginally better than the zero-storage system with the same load profile. Applications with extremely irregular load profiles (i.e. periods of no draw or large spikes) during hours of insolation have a greater need for thermal storage.

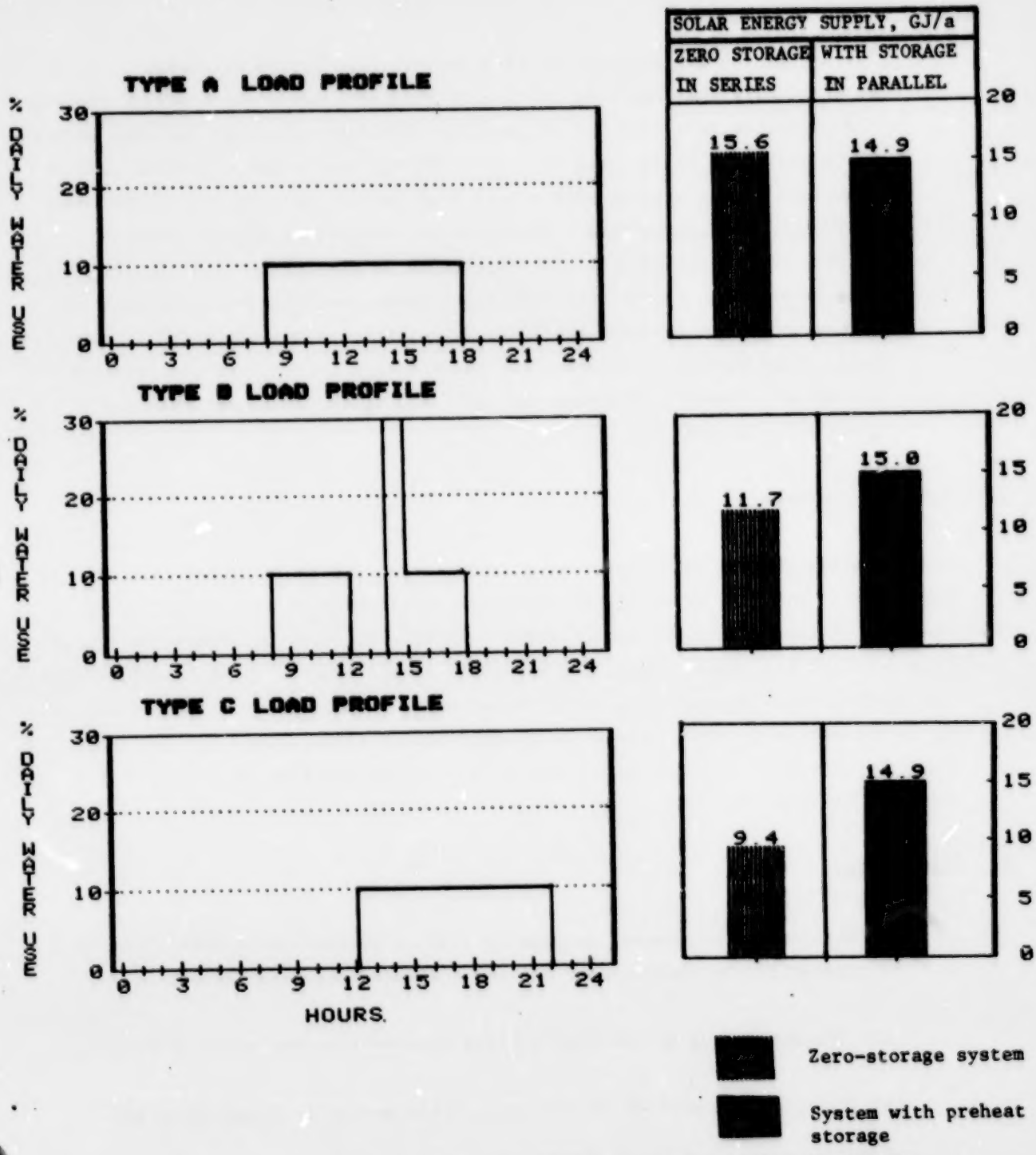

Figure 1. Annual solar energy supplied for systems with and without preheat storage tank using various types of load profiles.

iii) Type C Load Profile:

The annual thermal performance of a zero-storage system decreases substantially when the load profile is shifted outside the hours of incident radiation, as in a Type C load profile. Incident radiation received between 08:00 and 12:00 is not used in a zero-storage system and therefore must be "dumped". Solar systems with a load profile that extends beyond the hours of incident radiation have a potential for collecting energy from the ambient air if the ambient air temperature is greater than the fluid inlet temperature to the collector. This phenomena is particularly evident in a zero-storage system where the inlet temperature to the collector is always mains temperature. Even with this extra energy gain by the zero-storage system the overall performance is still significantly poorer than the storage-based system.

3.3 Economic Concerns

Even when the thermal performance of a zero-storage system is poorer than that of a storage system, the zero-storage system may still be more cost effective over the life of the project due to its lower initial cost (cost of storage may range from 5-15% of the system cost). In any solar design process it is important that the thermodynamic aspects be fully examined using a computer simulation. However it is not enough to size a system on thermodynamics alone, since the cost of obtaining the best thermodynamic solution may be prohibitive. A system cost analysis is also required.

4. CONCLUSIONS

1. The elimination of thermal storage in a solar system should definitely be considered if the heating load has the following characteristics:

   (a) The scheduling of the load profile matches the insolation profile.

   (b) There are no periods of zero load while energy is being collected.

(c) There is a 7-day-per-week load requirement.

(d) The useful energy collected by the solar system does not exceed the energy requirement of the load during any hour of the day (i.e. low solar fraction).

2. If some but not all of the above conditions exist then a more detailed thermal/economic analysis should be performed to determine the merits of a zero-storage system.

3. Allowances must be made for reduced flow and for series connection of collectors when simulating the performance of zero storage systems where mains water is drawn through the collectors.

4. A system cost analysis is required to ensure that the savings gained by elimination of storage are not lost in the extra costs of series connection in relation to energy delivered.

5. REFERENCE

1. Solar Programs Office Technical Note #2.

2. Duffie, John A. and Beckman, William A. 'Solar Engineering of Thermal Process' John Wiley and Sons, Toronto, Pg. 268.

3. Solar Programs Office Technical Note #10.

Guide technique

Travaux publics Canada | Public Works Canada

Bureau des programmes solaires (613) 996-9817

N° 16: juillet, 1983

Facteur de correction du débit des systèmes de chauffage solaire sans stockage thermique

1. SYNOPSIS

Il se peut que certains systèmes de chauffage solaire de l'eau sans stockage thermique aient un meilleur rendement dans certaines conditions que les systèmes conventionnels. Ces conditions font l'objet de la présente étude.

2. INTRODUCTION

On a utilisé un programme machine interactif WATSUN 4, à étapes horaires, pour simuler deux systèmes: l'un avec et l'autre sans stockage thermique. Voici les données introduites dans l'ordinateur pour le système modèle:

surface active de captation:	8 m^2
charge d'eau chaude:	500 l/j
température prévue de l'eau chaude:	50°C
température de l'eau du robinet:	10°C
inclinaison des capteurs:	45°
azimuth:	0°
emplacement:	Ottawa
stockage:	a) 0 l/m^2 du capteur
	b) 60 l/m^2 du capteur.

On a simulé le rendement thermique annuel du système modèle pour les trois types de profils de charge illustrés à la figure 1.

i) Profil de charge A: Il est constant de 8 h à 18 h, avec une charge d'eau chaude uniquement pendant les heures de rayonnement incident possible.

ii) Profil de charge B: Il est irrégulier de 8 h à 18 h.

iii) Profil de charge C: Il est constant de midi à 22 h. Il y a possibilité de rayonnement incident seulement pour une partie de la charge d'eau chaude.

3. DISCUSSION

Si l'on fait la moyenne de la charge de 500 l/j pour une journée de 10 h tel qu'on peut le voir à la figure 1 pour les charges A et C, on obtient une demande en eau chaude de 0,83 l/min. Par souci de commodité, on a aussi calculé la moyenne du profil de charge B pour une journée de 10 h en vue d'obtenir une demande en eau chaude semblable. Dans le système sans stockage thermique, le débit des capteurs répond directement à la charge. Ce débit est donc de 0,1 l/min/m^2 lorsque les capteurs sont montés en parallèle. Le capteur utilisé pour cette simulation a un débit expérimental prévu de 1,32 l/min/m^2. On s'aperçoit donc qu'avec un branchement en parallèle, le débit du système est minime.

Pour aider à remédier à la situation, on peut brancher les capteurs en série. On hausse ainsi le débit de chaque capteur de 0,1 l/min/m^2 à 0,47 l/min/m^2. Ce débit est encore beaucoup moins élevé que le débit prévu. Il faut donc corriger les facteurs $F_R\tau\alpha$ et F_RU_L utilisés dans la simulation, tout d'abord pour la réduction du débit, puis pour la baisse du rendement attribuable au montage en série des capteurs.

3.1 Méthode

1re ÉTAPE Correction pour la réduction du débit

$Fa = 0,96$ (référence 1)

2e ÉTAPE (F_RU_L)nouveau = Fa (F_RU_L) expérimental

$(F_{R\tau\alpha})$nouveau = Fa $(F_R\tau\alpha)$ expérimental

3e ÉTAPE Correction pour le montage en série

$$F_S = \frac{1 - (1-K)^N}{NK}$$ (référence 2)

ou N = le nombre de capteurs identiques

$$K = \frac{A\ (F_RU_L)\ \text{nouveau}}{mcp}$$

A = la surface active d'un capteur

m = le débit massique d'un capteur

cp = la chaleur massique du fluide caloporteur

4e ÉTAPE (F_RU_L) réel = F_S (F_RU_L) nouveau

$(F_R\tau\alpha)$ réel = F_S $(F_R\tau\alpha)$ nouveau

Après avoir tenu compte de facteurs de correction de 0,96 pour la réduction du débit et de 0,69 pour le montage en série, on abaisse respectivement les valeurs expérimentales de F_RU_L (8,18) et de $F_R\tau\alpha$ (0,73) à 5,42 et 0,484. Le branchement en série diminue fortement le rendement des capteurs; mais contrairement au montage en parallèle, il ne restreint pas leur débit.

3.2 Rendement thermique annuel

i) Profil de charge A

De tous les systèmes de chauffage solaire étudiés, c'est le système sans stockage à profil de charge A qui offre le meilleur rendement thermique annuel. Lorsque la demande en énergie ne dépasse pas la quantité d'énergie utile recueillie par le système solaire pendant toute heure du jour, l'accumulation thermique réduit le potentiel de captation d'énergie. Dans un système de stockage thermique à température uniforme, la température de l'eau à l'entrée des capteurs est d'habitude plus élevée que celle de l'eau du robinet, ce qui diminue le rendement du champ de capteurs.

ii) Profit de charge B

Un changement dans la forme du profil de charge influe beaucoup sur le rendement thermique annuel du système sans accumulation de chaleur. Vu qu'il y a des heures pendant lesquelles il y a captation d'énergie, mais pas de charge, seul le fluide caloporteur dans la boucle de capteur est chauffé et le système doit évacuer tout le reste de l'énergie recueillie lorsqu'il n'y a pas d'accumulation thermique. Les systèmes à stockage et à profil de charge B ont un meilleur rendement marginal que le système sans stockage thermique doté du même profil. Les applications qui comportent des profils de charge très irréguliers (c'est-à-dire des périodes d'absence de demande ou de fortes périodes de pointe) pendant les heures d'ensoleillement exigent un stockage thermique peu important.

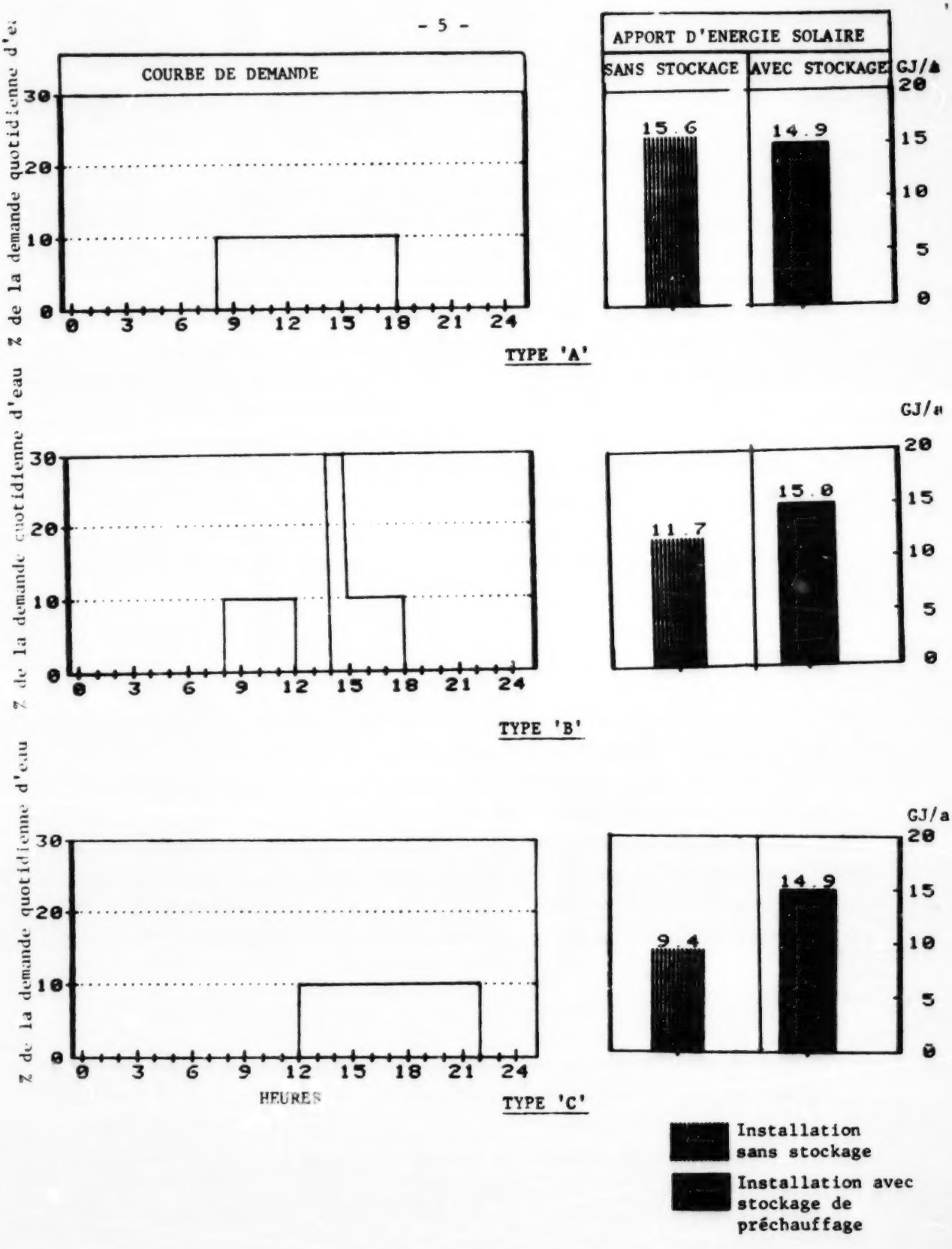

Figure 1. Apport annuel d'énergie solaire pour des installations avec et sans stockage thermique selon diverses courbes de demande.

iii) Profil de charge C

Le rendement thermique annuel d'un système sans stockage diminue beaucoup lorsqu'on déplace le profil de charge (C, par exemple) hors des heures de rayonnement incident. Dans un système sans stockage thermique, le rayonnement incident capté de 8 h à midi n'est pas utilisé et doit donc être évacué. Les systèmes solaires dotés d'un profil de charge qui se prolonge au delà des heures de rayonnement incident peuvent puiser de l'énergie dans l'air ambiant si la température de ce dernier est supérieure à celle du fluide à l'entrée des capteurs. Ce phénomène est aussi évident dans un système sans stockage thermique où la température du fluide à l'entrée des capteurs est toujours la même que la température de l'eau du robinet. Même avec l'apport énergétique supplémentaire dont bénéficie le système sans stockage, son rendement global est encore de beaucoup inférieur à celui du système à stockage.

3.3 Rentabilité

Bien que le rendement du système sans stockage soit moindre que celui du système à accumulation, sa rentabilité peut être meilleure pendant sa durée de vie, en raison de son coût initial inférieur (le coût du stockage peut représenter de 5% à 15% du coût du système). Dans toute conception d'un système solaire, il importe d'étudier à fond ces aspects thermodynamiques par simulation sur ordinateur. Toutefois, il ne suffit pas d'examiner un système seulement au point de vue thermodynamique, puisque le coût de la meilleure solution thermodynamique est parfois prohibitif. Une analyse des coûts est aussi nécessaire.

4. CONCLUSION

1. On devrait assurément songer à éliminer le stockage thermique dans un système solaire lorsque la charge de chaleur possède les caractéristiques suivants:

   a) La planification du profil de charge correspond à celui du profil d'insolation.

b) Il n'y a pas de périodes de charge nulle pendant la captation d'énergie.

c) Il y a charge sept jours par semaine.

d) La quantité d'énergie utile captée par le système solaire ne dépasse pas les besoins en énergie de la charge pendant toute heure du jour (à savoir une faible fraction solaire).

2. Si certaines des conditions énoncées ci-dessus existent, mais pas toutes, on devrait effectuer une analyse thermo-économique plus précise pour déterminer les avantages d'un système sans stockage thermique.

3. On doit prévoir une réduction du débit et le montage en série des capteurs lorsqu'on simule le rendement des systèmes sans stockage, alimentés en eau du robinet.

4. Une analyse des coûts des systèmes est nécessaire pour s'assurer que les économies réalisées par l'élimination du stockage ne sont pas annulées par les coûts additionnels du montage des capteurs en série par rapport à l'énergie fournie.

5. BIBLIOGRAPHIE

1. Guide technique n° 2 du Bureau des programmes solaires.

2. Duffie, John A., et Beckman, William A. "Solar Engineering of Thermal Process", John Wiley and Sons, Toronto, 268 p.

3. Guide technique n° 10 du Bureau des programmes solaires.